

значительным изменениям параметров короткозамкнутого ротора, а также к возможности протекания продольного тока в магнитопроводе ротора перпендикулярно его листам, что необходимо учитывать при проектировании и расчете асинхронных короткозамкнутых двигателей.

1.Пиотровский Л.М. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1972. – 504 с.

2.Ганзбург Л.Б. Производство сердечников, коллекторов и обмоток электрических машин. – Л.: СЗПИ, 1980. – 79 с.

3.Осьмаков А.А. Технология и оборудование производства электрических машин. – М.: Высшая школа, 1980. – 312 с.

*Получено 28.11.2005*

УДК 629.423.1

О.Н.СИНЧУК, д-р техн. наук

ОАО «Электрические машины», г.Харьков

Д.Ю.ЛОЗОВОЙ

Криворожский технический университет

### **ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ ПО ЗАЩИТЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВАГОНА МЕТРОПОЛИТЕНА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ПИТАЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

Рассматриваются вопросы защиты тягового электропривода постоянного тока вагонов метрополитена от имеющих место перенапряжений в питающей контактной сети. Приведены результаты исследований и конкретные пути решения данной проблемы.

Природа перенапряжений в питающей контактной сети (ПКС) электропоездов метрополитенов весьма разнообразна – это коммутационные процессы в электрооборудовании тяговых подстанций, подключение к ПКС и отключение от неё вагонов при оперативных и аварийных манипуляциях [1] и т.п.

В большинстве случаев отключение вагона метрополитена (МП) от ПКС наиболее вероятная причина выброса напряжения в последнюю. При отключении вагона МП от ПКС в ней возникают ЭДС самоиндукции в силу распределенной индуктивности сети. Процесс возникновения импульса сверхнапряжения иллюстрируют идеализированные схемы замещения, приведенные на рис.1 с П-образным входным фильтром и на рис.2 с Г-образным входным фильтром [2].

Обозначения элементов, принятые на рисунках: LL – приведенная к сосредоточенной индуктивности ПКС; ZZ – П-образный фильтр с элементами CS, LZ, CZ; ZD – Г-образный фильтр с элементами LD, CD как упрощенный вариант Т-образного фильтра; RW – исследуемая нагрузка; RU, KU – параллельно действующая нагрузка имитирующая вагон МП, который отключается в процессе работы.

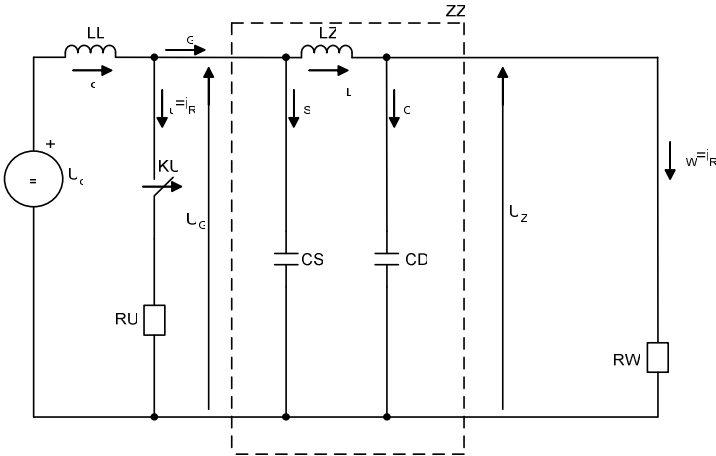


Рис.1 – Упрощенная схема замещения ПКС и ТЭП вагона МП с П-образным входным фильтром

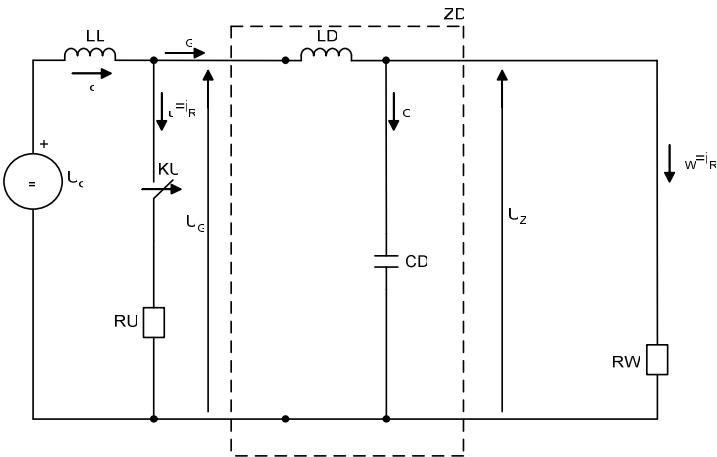


Рис.2 – Упрощенная схема защиты ПКС и ТЭП вагона МП с Г-образным входным фильтром.

Мощности нагрузок  $RW$  и  $RU$  и, следовательно, установившиеся в них токи полагаем равными. В установившемся статическом режиме:

$$i_L = 2i_R; \quad i_D = i_R.$$

При отключении нагрузки  $RU$  на оставшейся в работе нагрузке

RW возникает импульс напряжения, обусловленный избыточной магнитной энергией  $W_L = \frac{L_L \cdot i_R^2}{2}$ , накопленной в LL.

В схеме с Г-образным фильтром этот выброс напряжения может многократно превышать величину  $U_d$ , это предъявляет жесткие требования к конструкции и изоляции дросселя LD. Следует заметить, что Г-образные фильтры нашли применение в различных видах транспортных установок, в том числе и в вагонах МП с ШИП, и зарекомендовали себя как простые и надежные.

В схеме с П-образным фильтром избыточная энергия ПКС компенсируется входным конденсатором CS и чем больше его ёмкость, тем меньше пик напряжения на входе LZ. Однако величина избыточной энергии  $W_L$  непредсказуема так как зависит от многих неизвестных – скорости отключения нагрузки RU, реальных распределенных параметров ПКС, расстояния между RU и RW и их удаления от тяговой подстанции, параметров источника питания и др. Все это диктует необходимость применения специального типа конденсатора, воспринимающего и выдерживающего мощные зарядные импульсы тока и предопределяет завышение величины его ёмкости.

В первом приближении оценить параметры входного конденсатора CS можно следующим образом. Поскольку индуктивность фильтра LD достаточно велика, то влиянием LD - CD и нагрузки RW на процесс в первый момент можно пренебречь, тогда схема, приведенная на рис.1, упрощается, как показано на рис.3.

Начальные условия при включении КУ:

$$I_d = I_R = U_d / R ; R = R_U ; I_{s0} = 0 ; U_{G0} = U_d.$$

При отключении КУ возникает колебательный процесс:

$$U_G = U_d + U_d \frac{\rho_L}{R} \sin \omega_L t ; \quad (1)$$

$$i_s = \frac{U_d}{R} \cos \omega_L t , \quad (2)$$

где

$$\rho_L = \sqrt{L_L / C_s} ; \omega_L = \frac{1}{\sqrt{L_L \cdot C_s}} ; \quad (3)$$

$$R = \frac{U_{dH}^2}{2P_{H3}} = \frac{U_{dH}}{2I_{dM}} . \quad (4)$$

Коэффициент «2» учитывает две пары двигателей [3].

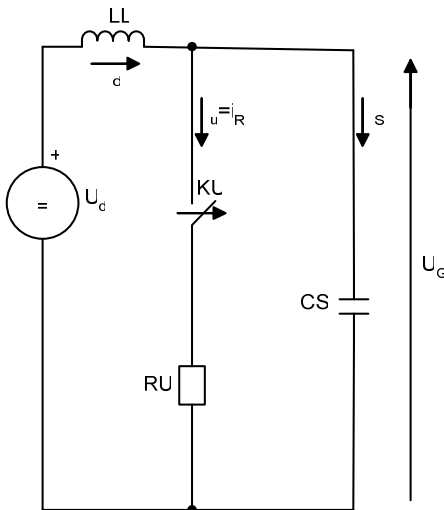


Рис.3 – Расчетная схема коммутационных пиков перенапряжения

Подставляя (4) в (1) и полагая  $\sin \omega_L t = 1$ , находим максимальное значение выброса напряжения на входном конденсаторе CS (превышение над  $U_d$ ):

$$\Delta U = \sqrt{\frac{L_L}{C_L}} 2I_{дн} . \quad (5)$$

Откуда

$$C_L = \frac{4L_L \cdot I_{дн}^2}{\Delta U^2} . \quad (6)$$

Задавая допустимое значение  $\Delta U$ , находим  $C_L$ .

В нашем случае:  $L_L = 9$  мГн – максимально возможное;  $I_{дн} = 330$ А;  $I_{дмакс} = 420$ А (пуск);  $\Delta U = 0,2 \cdot I_{дн} = 0,2 \cdot 750 = 150$  В;

$$C_L = \frac{4 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 330^2}{150^2} = 174 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}.$$

Разместить конденсаторы ёмкостью 175 Ф и напряжением до 1000 В в вагоне МП практически нереально. Таким образом, применение П-образного фильтра в тяговом электроприводе МП исключено.

Схема предусматривает также принудительное возбуждение тягового двигателя при переходе ТЭП в тормозной режим.

Здесь конденсатор CD кроме функций фильтрации и защиты предназначен также для накопления энергии, необходимой для предварительного возбуждения тяговых двигателей в начале резисторного торможения, когда обмотки возбуждения двигателей подпитываются от конденсатора CD. Таким образом, должно быть:

$$W_B = K_B \cdot P_H \cdot t_B \approx 10^{-3} \cdot 110000 \cdot 1 = 110 \text{ ВА} \cdot \text{с}; W_C = \frac{U_{дн}^2 \cdot C_D}{2};$$

$W_B = W_C$ , тогда

$$C_D = \frac{2 \cdot 110}{750^2} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ф} = 400 \text{ мкФ}.$$

При этом необходимо иметь ввиду, что использование энергии конденсатора CD для предвозбуждения является избыточным – служит для подстраховки и надежного торможения, поскольку для самовозбуждения двигателей достаточно остаточного намагничивания полюсов двигателей.

Таким образом, защита электрооборудования вагона от перенапряжений обеспечивается Г-образным LC-фильтром, но требует дальнейшего усовершенствования.

1. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводом. – Минск: Высшая школа, 1986. – 142 с.

2. Гончаров Ю.П., Будьоний О.В., Морозов В.Г., Панасенко М.В., Ромашко В.Я., Руденко В.С. Перетворювальна техніка. Ч.2. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.

3. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 с.

*Получено 05.12.2005*

УДК 629.423.3 : 621.314

Ю.П.ГОНЧАРОВ, М.В.ПАНАСЕНКО, доктори техн. наук,  
В.А.ЧУМАК, Н.М.ПАНАСЕНКО

*Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”*

М.В.ХВОРОСТ, канд. техн. наук

*Державне підприємство „Харківський метрополітен”*

## **ТЯГОВИЙ ТРИФАЗНИЙ МОСТОВИЙ ІНВЕРТОР НАПРУГИ НА ОСНОВІ ВУЗЛА ОДНОРІДНОЇ КОМУТАЦІЇ З ЛІНІЙНИМ ДРОСЕЛЕМ**

Розглядається схема трифазного мостового інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією на основі вузла однорідної комутації з лінійним комутуючим дроселем щодо її використання в тягових асинхронних електропередачах рухомого скла-